

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»
Кафедра геоінформатики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність 103 – Науки про Землю
освітня програма «Геологія(на основі ОР молодшого спеціаліста)»

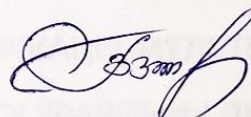
ТЕМА: Моніторинг уражених ділянок лісів та їх класифікація

Виконав студент



Бедім В'ячеслав

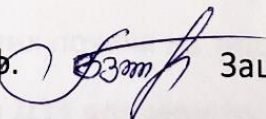
Науковий керівник д.т.н., проф.



Зацерковний В. І.

Робота рекомендується до захисту (протокол № ¹⁴ номер протоколу
засідання кафедри геоінформатики від вввести дату 18.06-23р

Завідувач кафедри д.т.н., проф.



Зацерковний Віталій Іванович

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження.....	6
РОЗДІЛ 2. Синтез візуального дешифрування та індексних зображень для виявлення уражених ділянок лісу на прикладі Житомирської області.....	17
2.1. Матеріали і методи первинної обробки.....	17
2.2. Використання композитів з трьох спектральних каналів в колірному просторі RGB для виявлення та моніторингу порушення рослинного покриву.....	25
РОЗДІЛ 3. Автоматизована класифікація мультиспектральних знімків методом спектрального кута з метою виділення класу уражених ділянок лісу	27
3.1. Постановка задачі класифікації методом спектрального кута.....	27
3.2. Реалізація алгоритму класифікації методом спектрального кута на Python в середовищі ArcGIS.....	29
3.3. Використання Semi–Automatic Classification Plugin у QGIS для класифікації методом спектрального кута з метою виділення класу уражених ділянок лісового покриву.....	31
ВИСНОВКИ.....	38
ДОДАТКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Україна має велику кількість природних ресурсів, невід'ємною складовою яких є ліси, які покращують стан навколишнього природного середовища (НПС) сприяють розвитку економіки, зокрема окремі її галузі, пов'язані з обробіткою деревини чи рекреацією.

Рівень лісистості в Україні відносно низький і становить 15,9%. Загалом площа лісового фонду України становить 10,4 млн га, з яких 9,6 млн га – вкриті лісом землі.

Згідно з Лісовим Кодексом України: «Ліс – тип природних комплексів (екосистема), у якому поєднуються переважно деревна та чагарникова рослинність з відповідними ґрунтами, трав'яною рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами та іншими природними компонентами, що взаємопов'язані у своєму розвитку, впливають один на одного і на навколишнє природне середовище».

Ліси відіграють важливу природоохоронну роль: вони очищують повітря й підвищують його вологість, акумулюють опади і зберігають вологу, більш рівномірно в часі розподіляють поверхневі стоки, захищають стрімкі схили від денудації тощо. 16,1% від усіх площ лісів відносяться до заповідних і ця частка має стійку тенденцію до зростання. Близько половини лісів України є штучно створеними і потребують посиленого догляду.

На жаль, активними темпами як у світі так і в Україні, відбувається знеліснення територій – процес перетворення колись вкритих лісами площ на угіддя без деревної рослинності. За означенням ЮНЕП, програми ООН з проблем довкілля, знеліснення – повне знищення лісової рослинності та переведення земель в інший тип господарського призначення.

Основними причинами знеліснення свиступають вирубки лісів без їх достатнього поновлення, пожежі, вітровали, кислотні дощі, зміна гідрологічного режиму, зниження стійкості до фітозахворювань, радіоактивне ураження, масове всихання дерев, знищення дерев шкідниками тощо. Тому актуальним завданням на сьогодні є охорона лісових ресурсів та ефективний моніторинг лісовкритих територій. Ця задача зазначена в Стратегії сталого розвитку України до 2030 року, яка передбачає збільшення площ територій та об'єктів природнозаповідного фонду до 15% території країни, та збільшення лісистості території до 20% площі країни. У вирішенні цього питання допомогти можуть геоінформаційні методи обліку територій.

Глобальні зміни клімату, підвищення температур та зменшення опадів провокують розвиток шкідників, що найбільш поширені в монохвойних лісах. Хімічна обробка на уражених ділянках не є ефективною і на сьогодні єдиним методом боротьби з шкідниками є санітарні рубки.

Традиційний підхід до еколого-економічної оцінки уражень лісу, який який здійснюється сьогодні на експертному рівні, коли вже відомі розміри та положення проблемних лісових масивів, не орієнтований на своєчасне оперативне визначення вогнищ уражень, їх масштабів і оцінки можливих наслідків. Такий підхід не дозволяє приймати своєчасні рішення в управлінні діяльністю лісоохоронних служб.

Актуальність залучення технологій геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для виявлення уражених ділянок лісу визначається оперативністю проведення моніторингу та великою площею охоплення території, що є дуже важливим для лісовкритих регіонів.

Світовий досвід свідчить про необхідність широкого застосування технологій ДЗЗ (як космічних, так і авіаційних), супутникових навігаційних

систем, технологій ГІС у процесах збору, обробки та аналізу інформації про лісові ресурси, в поєднанні з даними аеровізуальних спостережень і традиційними наземними методами лісопатологічних досліджень. Цей комплексний підхід дозволяє зібрати великий масив актуальних даних і на його основі створювати точні і актуальні карти, що характеризують стан лісів, застосовувати отримані результати в процесах ведення державного лісового кадастру, комплексного обліку і оцінки природних ресурсів, управління лісовим господарством та природно-заповідним фондом (ПЗФ).

Мета роботи – аналіз та реалізація методів і підходів до дослідження лісової рослинності за даними супутникової зйомки, зокрема, виявлення та моніторингу ураження лісу шкідниками, а також дослідження алгоритму тематичної класифікації мультиспектральних зображень методом спектрального кута.

Методи дослідження – методи теоретичного аналізу літератури; математичної статистики; системного аналізу; узагальнення і порівняння; технологій ГІС та ДЗЗ.

Робота складається з 4 розділів, висновків списку використаних джерел. Кількість сторінок – 55, рисунків – 19, таблиць – 5, додатків – 5. Опрацьовано джерел: 53

РОЗДІЛ 1.

Огляд літературних джерел за темою дослідження

У загальному випадку, під моніторингом розуміють комплексну систему спостережень за станом НПС, оцінки і прогнозу змін її стану під впливом природних і антропогенних чинників (*Архипова М. В., 2013*).

Моніторинг передбачає процес систематичного або безперервного збору інформації про параметри НПС для визначення тенденцій їх зміни. Моніторинг можна проводити за допомогою мережі стаціонарних пунктів, однак спостереження на окремих точках або профілях не завжди відображають просторові зміни. Тому використання аеро– і космічних знімків є необхідною умовою проведення регулярних спостережень за сучасним станом екосистем (*Бычков И. В., 2013*).

Як було неодноразово доведено, використання оперативної глобальної космічної інформації дозволяє успішно здійснювати моніторинг, як швидкоплинних (пожежі, повені тощо), так і доволі повільних процесів (заростання вирубок, пересихання річок), де основною метою є виявлення і оцінка змін навколишнього середовища (*Борзов С. М., Козик В. И., Потатуркин О. И., 2010*).

На сьогодні, одним з найважливіших дослідницьких завдань у сфері моніторингу з залученням ГІС та ДЗЗ є оцінка стану лісових ценозів. Дослідженням даного питання займалися такі вчені як Крилов А. М., Соколов А. А., Станкевич С. А., Пестова І. О., Філософ Р.С., Владимірова Н. А., Маркс А., Чандра А.М., Гош С.К, Хамедов В.А., Копілов В.Н., Поліщук Ю.М., Шімов С.В. та ін.

Супутникові зображення дозволяють визначити ділянки лісу, порушені внаслідок антропогенного впливу, основні фактори впливу, виділити лісові площі, визначити породний склад лісів, виявити сліди нелегальних вирубок і пожеж. На основі матеріалів ДЗЗ можна створювати інформаційне забезпечення, необхідне для організації лісового господарства і багатоцільового лісокористування. Проте методика виявлення уражених шкідниками ділянок лісу залишається недостатньо розробленою. Стандартно, для виявлення вогнищ уражень шкідниками можливе використання як візуального, так і автоматизованого методів дешифрування космічних знімків (Кравцова В. И., Тутубалина О. Н., 2004, Крылов А.М., Владимирова Н.А., Малахова Е.Г., 2012).

Більшість дослідників, описуючи загальні закономірності подання об'єктів на знімку в процесі візуального дешифрування аналізують варіанти спектрального синтезу, найбільш вдалі для виявлення досліджуваних об'єктів (Пестунов И. А., Синявский Ю. Н., 2012, Климина Е. М., Остроухов А. В., 2011, Станкевич С. А., 2013), а також акцентують увагу на закономірностях поглинання та відбиття випромінювання рослинністю в різних спектральних зонах. Наприклад, синя зона спектрального випромінювання активно поглинається хлорофілом (в основному хлорофілом b). Ця зона дуже чутлива до атмосферних умов, таких, як туман. Здорова рослинність поглинає більше випромінювання у синій і червоній зонах, відбиваючи при цьому значну частину зеленого спектру. Зелений канал слугує не тільки для формування композитного RGB-зображення, а й дозволяє класифікувати рослинність в поєднанні з іншими каналами, в тому числі виявляючи її загальний стан. Також можливо помітити значне зниження відбивної здатності інфрачервоного

спектру на знімках лісів, уражених шкідниками. Проте, найбільш інформативними є космічні знімки в визначених кольорових комбінаціях (табл.1.1), і саме дана методика частіше зустрічається в різних варіантах в більшості літературних джерел.

Таблиця 1.1.

Основні варіанти синтезу спектральних каналів, які можуть бути використані для візуального дешифрування уражених ділянок лісу (по: Fox, 2015)

Загальноприйнята назва синтезу	Канали, представлені кольорами монітору		
	R	G	B
Природні кольори	Видимий червоний	Видимий зелений	Видимий синій
У цій комбінації використовуються канали видимого діапазону, тому об'єкти земної поверхні виглядають схожими на те, як вони сприймаються людським оком. Здорова рослинність виглядає зеленою, прибрані поля – світлими, нездорова рослинність – коричневою і жовтою, дороги – сірими, берегові лінії – білявими.			
Стандартні псевдокольори	Ближній інфрачервоний	Видимий зелений	Видимий синій
Рослинність відображається у відтінках червоного, міська забудова – зелено-блакитних, а колір ґрунту варіюється від темно- до світло-коричневого. Хвойні ліси будуть виглядати більш темно-червоними або навіть коричневими в порівнянні з листяними. Ця комбінація дуже популярна і використовується, головним чином, для вивчення стану рослинного покриву, а також для вивчення агрокультур. В цілому, насичені відтінки червоного є індикаторами здорової рослинності, в той час як більш світлі, або голубі відтінки характеризують трав'янисту або уражену рослинність.			
Зелені псевдокольори	Короткохвильовий інфрачервоний	Ближній інфрачервоний	Видимий червоний
Особливо популярний при моніторингу лісних екосистем. Вегетуюча рослинність відображається в звичних відтінках зеленого кольору, і в той же час має хороший контраст з ґрунтами і водою.			
	Видимий червоний	Короткохвильовий інфрачервоний	Видимий синій

Здорова рослинність відображається у відтінках червоного, коричневого, помаранчевого. Ґрунти можуть виглядати зеленими або коричневими, яскраво блакитний колір може детектувати недавні вирубки території, а червонуваті – відновлення рослинності.

Візуальне дешифрування дає можливість отримання швидких результатів і не вимагає залучення наземних еталонів. Проте суттєвими недоліками є складність вирішення проблеми пропуску ділянок, особливо невеликих, і нестабільність результатів дешифрування, отриманих різними виконавцями.

Автоматизоване дешифрування традиційно базується на проведенні математичних операцій з растрами та їх класифікації. Обчислення спектральних індексів дозволяє виділити різницю відбиття випромінювання в певних частинах спектра різними об'єктами (Крылов А.М., Владимірова Н.А., 2012, Хамедов В.А., 2004, Чандра А. М., Гош С. К., 2008, Bruce С., Hilbert D., 2006).

Більшість індексів, що використовуються для вивчення рослинних угруповань, засновані на різниці спектрального профілю здорової рослинності від профілю ураженої, а також будь-яких інших об'єктів, в тому числі води і ґрунтів. В літературі зустрічаються індекси, що відображають біологічну продуктивність – NDVI, RVI, вміст вологи в рослинності тощо (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Основні вегетаційні індекси, що можуть бути залучені для моніторингу лісової рослинності(за матеріалами Deforestation:Change detection in Forest Cover using Remote Sensing, Mario Gulich Institute, Argentina, 2013)

Веgetаційний індекс	Визначення
RVI <i>Ratio Vegetation index</i>	$RVI = \frac{NIR}{R}$
NDVI <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
PVI <i>Perpendicular Vegetation Index</i>	$PVI = \frac{NIR - M * r - Q}{\sqrt{M^2 + 1}}$
DVI	$DVI = NIR - R$

<i>Difference Vegetation Index</i>	
IPVI <i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>	$IPVI = \frac{NDVI + 1}{2}$
WDVI <i>Weighted Difference Vegetation</i>	$WDVI = NIR - M * r$
SAVI <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L)$
TVI <i>Transformed VI</i>	$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5}$

NIR=value near infrared reflectivity

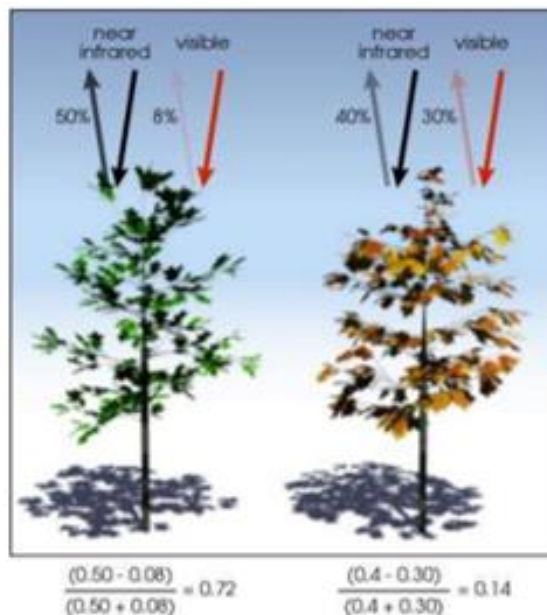
R=Value of reflectivity in red

L=soil adjustmet factor(L=0.5; Huete 1998)

M=Slope of the land

Q=y–intercept of the line of the soil

Частіше за інші використовується індекс NDVI (рис.1.1).



$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Рис.1.1. Базовий принцип нормалізованого вегетаційного індексу на прикладі здорової та ураженої рослинності (ресурс: <http://earthobservatory.nasa.gov>)

Зазвичай, він застосовується для створення глобальних продуктів на основі знімків низької і середньої розрізненності (*Baret, F., Guyot, G., and Major, D., 1989, Du H., Chang C., Ren H., Chang C., Jensen J., D'Amico F., 2004*), але може бути використаний і на локальному рівні для оцінки біорізноманіття (*Baret, F., Guyot, G., and Major, D., 1989, Bruce C., Hilbert D., 2006*).

Для оцінки типу і стану зміни рослинного покриву метод індексу NDVI може працювати в разі з методом кольорових композитів для цілей більш широкого аналізу території, а також для порівняння результатів, отриманих різними способами.

Для швидкої оцінки площ змін лісу, ураженого шкідниками при дешифруванні використовують аналіз різночасових знімків на території дослідження за певний період (*Станкевич С. А., 2013*).

Завданням аналізу часових рядів є виявлення характерних особливостей еволюції (динаміки) часового ряду, яка обов'язково має функціональну залежність від різних факторів впливу на систему (*Хамедов В.А., 2004*).

Динаміка часового ряду містить кілька компонентів, які являють собою прояви різнорідної дії на систему і є складовими часового ряду:

- тренд – загальний характер еволюції тимчасового ряду, напрямок його зміни, зберігається протягом тривалого проміжку часу або протягом усього проміжку аналізу;

- циклічні коливання – більш швидка зміна динаміки ряду, для якої характерні фази підвищення і пониження;

- сезонні коливання – зміни динаміки, пов'язані з природними циклічними процесами (зміна часу доби, пори року);

– випадкові флуктуації – безсистемні коливання часового ряду високою частоти і малої амплітуди, пов'язані з постійним впливом на систему різних подій і процесів;

– викиди – стрибкоподібні потужні і короткочасні зміни динаміки часового ряду, що мають значні відхилення значення досліджуваного параметра від загальної закономірності розподілу часового ряду.

Зазвичай, при аналізі часових рядів дистанційних даних по нерегулярній і достатньо розрідженій сітці спостереження неможливо визначати короткоперіодичні(сезонні) зміни, тому в основному більшість дослідників аналізують довгочасні тренди і періоди (до десяти років).

Для аналізу змін рідко застосовуються знімки низького просторової розрізненності (напр, MODIS), через грубі оцінки площ уражень.

Знімки середньої розрізненності Landsat найбільш широко використовуються в дослідженнях лісового покриву (*Baret, F., Guyot, G., and Major, D., 1989, Clevers, J. G. P. W., 1988, Moran, M.; Jackson, R.; Slater, P. & Teillet, P., 1992*) як на локальному, так регіональному рівні, і для екстраполяції даних окремих наземних спостережень. Ці знімки знаходяться у вільному доступі в початковому рівні, що дозволяє здійснювати на їх основі різні види досліджень багатьом ученим: від візуального дешифрування окремих об'єктів до математичних операцій з растром і автоматизованої класифікації з метою подання різних класів об'єктів або характеристик.

Знімки Landsat дозволяють одержувати прийнятні результати за рахунок можливості використання спектральних характеристик об'єктів. При цьому розрізненність 30 м не означає, що мінімальний розмір об'єктів – 900 квадратних метрів: можна розшифрувати і значно менші об'єкти, якщо вони

вносять помітний внесок у зміну яскравості пікселя (*Крылов А. М., Соболев А. А., Владимірова Н. А. , 2011, Moran, M.; Jackson, R.; Slater, P. & Teillet, P., 1992*).

Важливою перевагою знімків Landsat є висока періодичність (16 днів) і досить великий розмір сцени (185 на 185 км). Також 4 грудня 2015 року Європейське космічне агентство оголосило про відкриття даних із супутників Sentinel–2 Європейського космічного агентства. Ці дані вигідно відрізняються від даних Landsat(табл. 1.3) і спектральним (10 спектральних каналів у видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні проти 5 у сенсора OLI Landsat 8), і тимчасовим (5 днів проти 16), і просторової (10 і 20 метрів у видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні) розрізненності (*GRASS Development Team. Geographic resources analysis support system (GRASS) software, Slaton and Raymond-Hunt, 2001*).

Знімки Sentinel–2 допомогли значно розширити можливості моніторингу рослинного покриву (*Du H., Chang C., Ren H., Chang C., Jensen J., D’Amico F. , 2004*).

Таблиця 1.3.

Порівняльна характеристика даних дистанційного зондування, які можна застосувати для вивчення рослинних угруповань (інформація стосується даних, що знаходяться у вільному доступі)

Дані дистанційного зондування	Просторова розрізненність	Розмір сцени	Частота зйомки (номінальна)	Можливість роботи із спектральними каналами
MODIS	250–1000	2000	2 рази на добу	+
Landsat 8	30	185	16 днів	+
Sentinel 2A	10,20	600	5 днів	+

Іноді в літературних джерелах дослідники рекомендують обирати знімки різних платформ для порівняння та уточнення результатів методики

досліджень. Знімки високої (1–10 м) і надвисокої розрізненності (менше 1 м) безкоштовно доступні тільки за допомогою геопорталів, але вигідно відрізняються від вільно розповсюджуваних знімків, їхнє використання відрізняється високою точністю отриманих дослідниками результатів.

Проте знімки високої розрізненності малоприсадатні, якщо необхідна висока періодичність зйомки. У цьому випадку оптимальним рішенням можуть стати знімки Landsat в поєднанні з методиками субпіксельного дешифрування або декомпозиції спектральних каналів (*Крылов А. М., Соколов А. А., Владимірова Н. А. , 2011*).

Методи автоматизованої класифікації за своєю суттю засновані на статистичному аналізі і пошуку закономірностей, де вихідними даними є яскравість пікселів знімка об'єктів місцевості, що цікавлять дослідника, або їх похідні (наприклад, значення вегетаційних індексів або результати інших математичних перетворень).

Проблема вибору методу класифікації знімка в конкретному проекті аналогічна проблемі вибору методу статистичного аналізу.

Класифікація може бути попівсельна (кожен піксель відноситься до якогось класу) і об'єктно-орієнтованою – сегментація (в цьому випадку знімок спочатку ділиться на задану безпосередньо кількість сегментів потім дослідник визначає, до якого об'єкту відноситься кожен сегмент).

Попівсельну класифікацію використовують для встановлення закономірностей явищ, а також в разі дешифрування об'єктів з нечіткими і перехідними межами, а сегментацію – для створення карти і виділення насамперед цільових об'єктів (*Banskota A., Kayastha N., Falkowski M., Wulder M. A., Froese R. E., White J. C. , 2014*).

Попіксельна класифікація, в свою чергу, може бути без навчання (найпоширеніший метод – ISODATA включає кластеризацію пікселів по яскравості в різних каналах, після чого дослідник інтерпретує отримані класи) і з навчанням – програма відносить кожен піксель до еталонних класів в залежності від близькості його характеристик яскравості до характеристик кластерів.

Якщо результат класифікації незадовільний, вводяться поправки в еталони і проводять повторну класифікацію; кількість таких повторів може бути необмеженою.

Очевидно, що точність класифікації з навчанням вище.

Кластеризацію (класифікацію без навчання) краще застосовувати в тих випадках, коли територія маловідома або для виявлення великих класів об'єктів (наприклад, отримання маски лісів), класифікацію з навчанням, навпаки, проводять в тих випадках, коли необхідна більш детальна класифікація (наприклад, виділення лісових формацій).

Класифікація з навчанням дуже чутлива до якості еталонів (*Станкевич С. А., 2013*): вона наближається до ідеальної, тільки якщо еталони виділені дуже точно і відповідність пікселів і еталонів взаємно–однозначна (всі варіанти яскравостей мають свій клас і пікселі з однаковими характеристиками яскравості не потрапляють в різні класи).

Зрозуміло, що при вивченні рослинних угруповань цього добитися неможливо, крім того, еталони часто виділяються дослідниками на око, і не розрізняють яскравості настільки ж точно, наскільки їх виділяє алгоритм програми. Тому методики класифікації для виявлення уражених ділянок лісу повинні враховувати ряд особливостей, таких як породний склад лісів, складну комбінацію відбитого випромінювання від крон здорових і уражених одиниць

лісу, вплив факторів зовнішнього середовища (грунту, вологості, фенологічних фаз рослинності тощо) і тіні дерев, нерівномірність поширення на території, для того, щоб мінімізувати кількість пікселів класифікованих неправильно і не спотворити межі об'єктів пошуку.

Особливе місце серед алгоритмів попиксельної класифікації займають методи машинного навчання: класифікація з використанням систем нейронних мереж, дерев рішень і опорних векторів (*Clevers, J. G. P. W., 1988, Chan T. H., Ambikapathi A., Ma W. K., Chi C. Y. Robust , 2013, Goetz et al., 2004*).

Таким чином, проблема залишається актуальною для дослідження і більшість вчених намагаються детально вивчати і удосконалювати методики комплексного застосування космічних знімків в ГІС для моніторингу рослинного покриву, які дозволяють отримати картографічний матеріал з великим просторовим охопленням, відображати об'єкти із значенням їх спеціальних характеристик, яких немає на топографічних матеріалах для поглибленого вивчення рослинного покриву та швидкого виявлення зв'язків рослинних угруповань з умовами середовища, рельєфом, режимом зволоження тощо. При цьому доводиться констатувати відсутність єдиного методологічного підходу до аналізу даних ДЗЗ для проведення комплексної оцінки стану лісових територій в реальному масштабі часу. Ця обставина системно обмежує можливості оперативного виявлення уражених ділянок та, відповідно, прийняття своєчасних управлінських рішень.

РОЗДІЛ 2.

Синтез візуального дешифрування та індексних зображень для виявлення уражених ділянок лісу на прикладі Житомирської області

2.1. Матеріали і методи первинної обробки

Основними характеристиками матеріалів ДЗЗ є масштаб, або просторова розрізненність, тобто детальність зображення, їх тип (чорно–білі, кольорові, багатозональні, у видимому, інфрачервоному або радіодіапазонах спектру електромагнітних коливань), сезон та час зйомки.

Вибір знімків з певними характеристиками залежить від мети досліджень і властивостей території, яку необхідно вивчати.

При всьому різноманітті криві спектральної яскравості зелених рослин мають одну загальну закономірність: в оптичному діапазоні спектра у них два мінімуму – в синьому (0,45–0,47 мкм) і червоному (0,68–0,69 мкм) ділянках спектра і два максимуму – в зеленому (0,54–0,58 мкм) і ближньому інфрачервоному (0,7–1,3 мкм) ділянках.

Велика частка (70–90%) сонячних променів синього і червоного ділянок спектра поглинається пігментами листя рослин, перш за все хлорофілом, і перетворюється в енергію, необхідну для процесу фотосинтеза. До зеленої зони приурочений максимум відображення поверхнею листя, саме тому ми сприймаємо зелений колір листя. Найбільш високе відображення – в ближній інфрачервоній області спектра, воно пов'язане з внутрішньою структурою листя. У міру зростання і визрівання листя їх відбивна здатність змінюється. З особливостей спектральних властивостей рослинності слідує, що її дешифрування і вивчення дає найкращі результати при використанні матеріалів

зйомки в декількох спектральних зонах видимого та ближнього інфрачервоного ділянок спектра, тобто багатозональної зйомки.

Для вивчення можливості застосування матеріалів середнього просторової розрізненності для виявлення вогнищ уражених ділянок лісу на прикладі Житомирського соснового бору було обрано архіви супутникових мультиспектральних даних Landsat-8 та Sentinel-2.

Знімки, використані в дослідженні, надані оператором супутникової системи Landsat – геологічною службою США (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

В процесі роботи були проаналізовані багатоспектральні знімки Житомирської агломерації, отримані супутниковими системами в період з 2013 по 2017 роки. Більше 40 з них (рис.2.1) відповідають умовам дослідження – фенологічні фази з максимальною продуктивністю, допустимий відсоток покриття знімка хмарами, – були відібрані для подальшого аналізу.

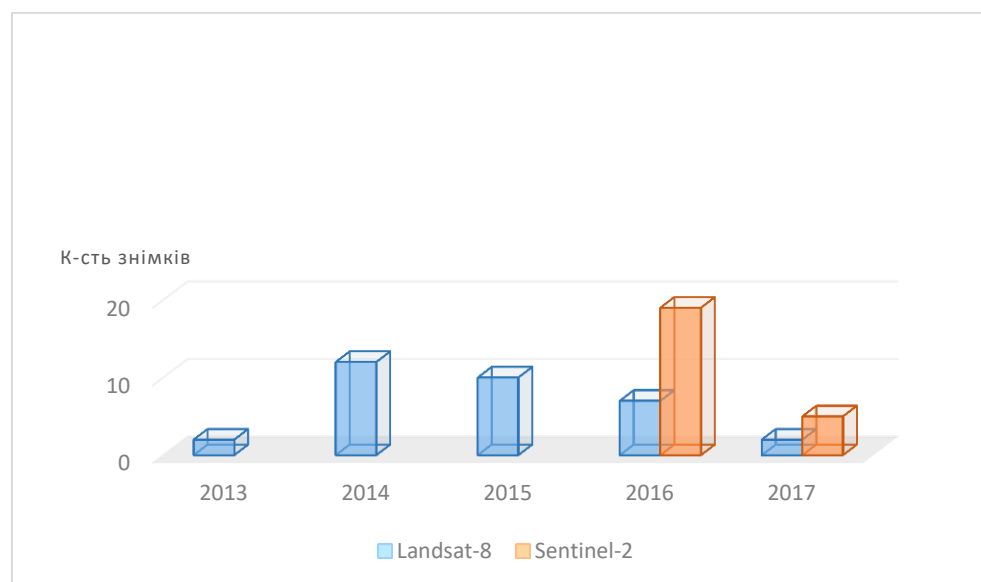


Рис.2.1. Розподіл відібраних для дослідження матеріалів Landsat-8 та Sentinel-2 у часі в період з 2013 до 2017 рр.

Загалом, для аналізу довгочасних змін на території дослідження доцільне використання тільки знімків Landsat-8, які наявні в вільному доступі для території дослідження починаючи з 2013 року (рис. 2.2–2.5).

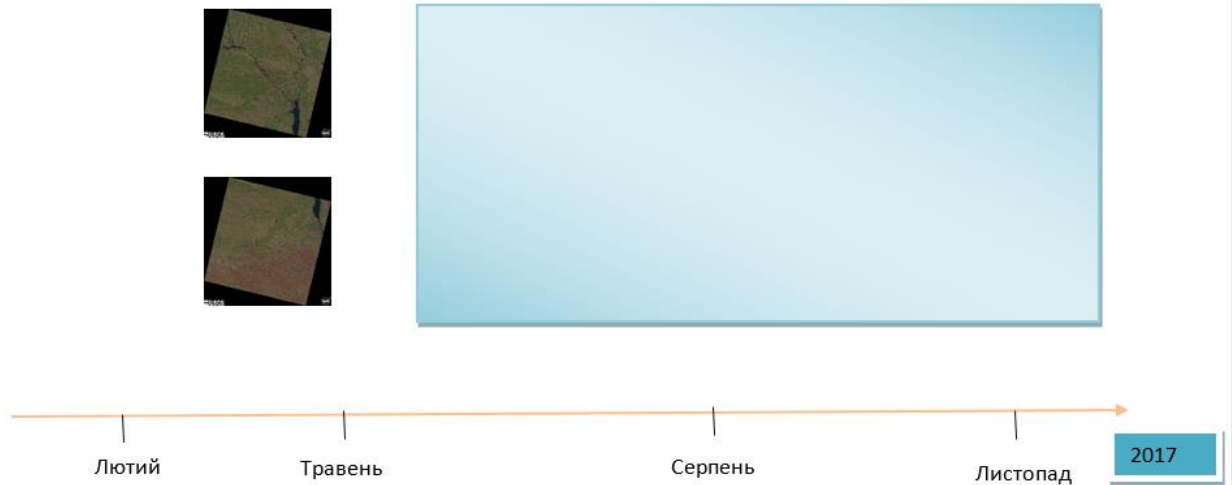


Рис. 2. 2. Розподіл у часі наявних матеріалів LANDSAT-8, які відповідають умовам дослідження, 2017 рік

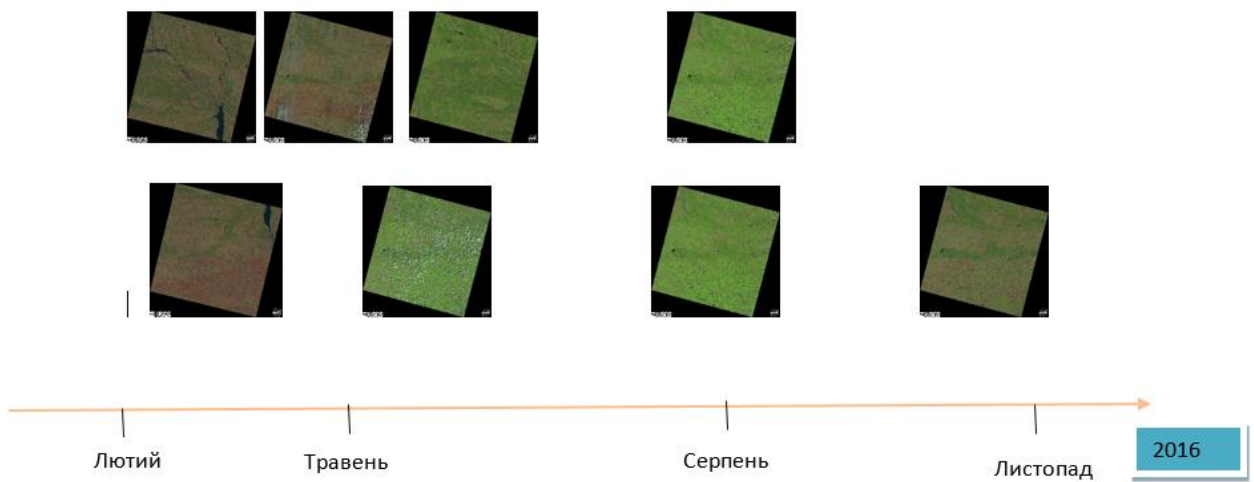


Рис. 2.3. Розподіл у часі наявних матеріалів LANDSAT-8, які відповідають умовам дослідження, 2016 рік

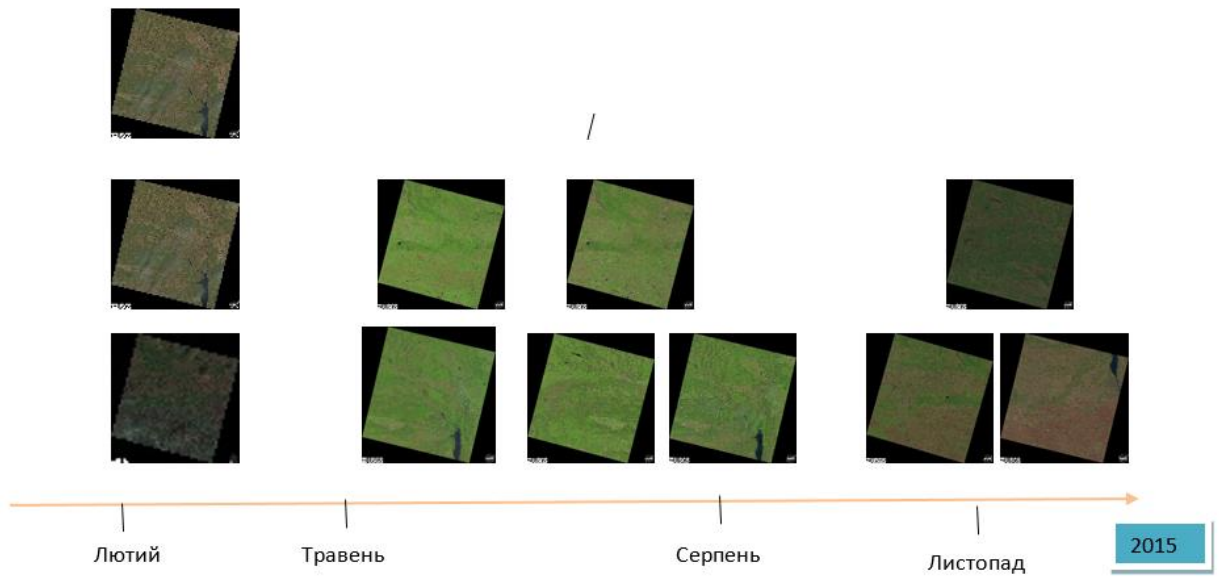


Рис. 2.4. Розподіл у часі наявних матеріалів LANDSAT-8, які відповідають умовам дослідження, 2015 рік

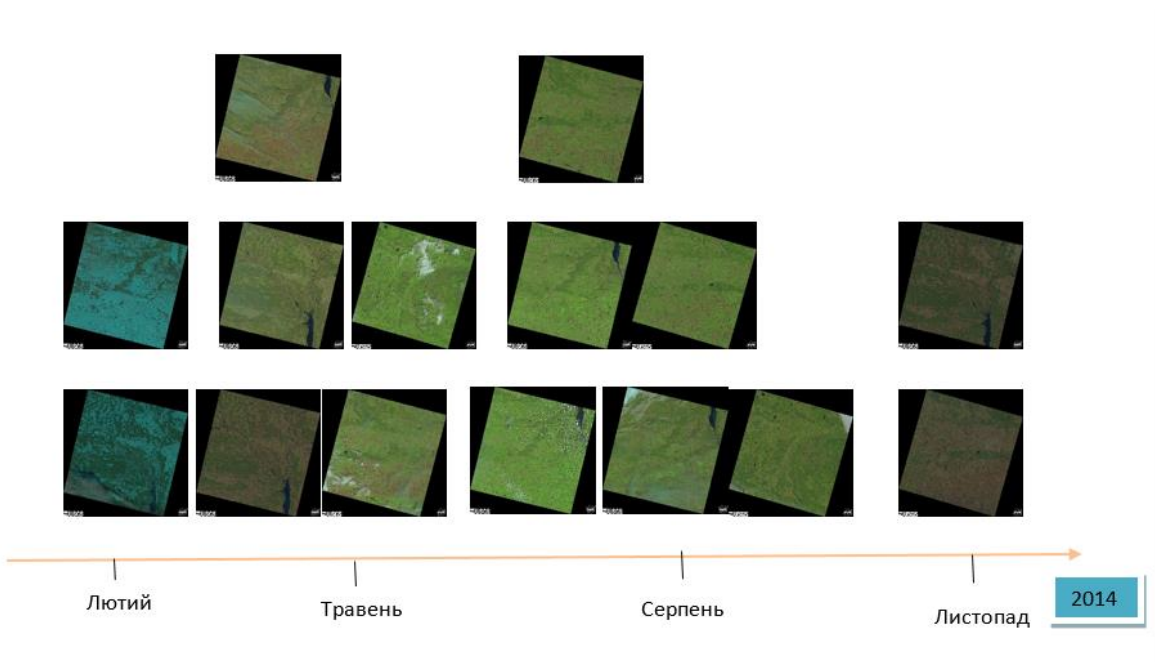


Рис. 2.5. Розподіл у часі наявних матеріалів LANDSAT-8, які відповідають умовам дослідження, 2014 рік

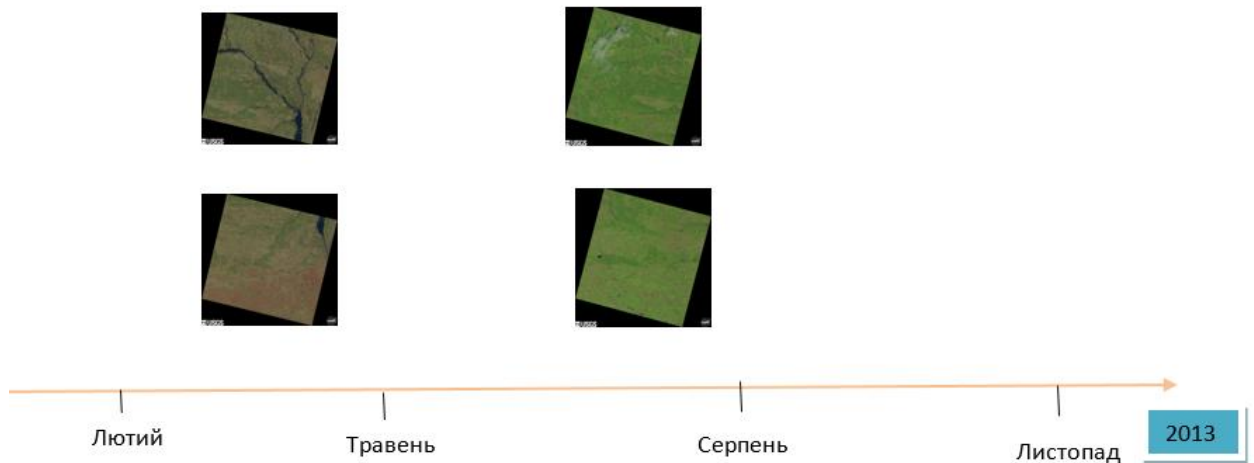


Рис. 2.6. Розподіл у часі наявних матеріалів LANDSAT–8, які відповідають умовам дослідження, 2013 рік

Знімки Sentinel–2 відрізняються більш густою сіткою спостереження, проте наявні лише в період 2016–2017 років, відповідно вони можуть бути використані для порівняння і уточнення результатів дослідження, проведених на прикладі Landsat–8.

Слід зазначити, що аналіз довгострокових часових рядів космічних знімків є ефективним і корисним інструментом дослідження рослинності та виявлення уражених ділянок, проте існують ряд чинників, що заважають здійснювати оперативний моніторинг. Наприклад, висока хмарність протягом року на території, коли по кожній конкретній ділянці можливо отримати безхмарну сцену лише кілька разів на рік. Проте повторні, регулярні або нерегулярні зйомки завдяки широкому спектру адаптаційних можливостей, дозволяють отримувати необхідний комплекс різноманітних продуктів і забезпечують інформацією різні сервіси моніторингу навколишнього середовища, як державних, так і приватних компаній, а також широко використовуються в рамках міжнародних програм(таких, як REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation)).

Первинна обробка даних включає атмосферну та геометричну корекцію даних.

Матеріали Landsat надаються користувачеві вже в скоригованій формі, наприклад, з урахуванням кривизни поверхні Землі, особливостей рельєфу. Однак всі ці корекції спрямовані, головним чином, на забезпечення надійного візуального дешифрування наземних об'єктів.

При аналізі космознімків на наявність уражених територій головними стають їх індивідуальні спектральні характеристики, що обґрунтовує додаткову корекцію зображень. Відповідно, первинна обробка даних включала радіометричну корекцію, що передбачала переведення значень пікселів багатоканального зображення Landsat-8, що представляють собою безрозмірну величину, у значення відбивної здатності альbedo.

Для матеріалів Landsat альbedo рахується за формулою[<http://wiki.gis-lab.info>]:

$$\beta = \frac{\pi * R * d^2}{E * \sin \theta} \quad (2.1)$$

де R – інтенсивність випромінювання від об'єкта, що надійшов до орбіти Landsat;

$$R = \frac{(\text{Radiance_Max} - \text{Radiance_Min}) * (Q - \text{Quantize_Cal_Min})}{(\text{Quantize_Cal_Max} - \text{Quantize_Cal_Min})} \quad (2.2)$$

де Q – дискретне каліброване значення пікселя вхідного растру, номіновано в умовних відносних одиницях DN (Digital Numbers – числові значення);

Radiance_Max; Radiance_Min; Quantize_Cal_Max; Quantize_Cal_Min
відповідні значення параметрів RADIANCE_MAXIMUM_BAND,

RADIANCE_MAXIMUM_BAND, RADIANCE_MAXIMUM_BAND,
RADIANCE_MINIMUM_BAND для кожного каналу з файлу метаданих;

d – відстань між Землею і Сонцем, відповідне значення параметру
EARTH_SUN_DISTANCE з файлу метаданих;

θ – висота Сонця над горизонтом в момент зйомки, відповідне значення
параметру SUN_ELEVATION з файлу метаданих ;

E – коефіцієнт світимості для кожного каналу (табл.2.1)

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнту E для Landsat-8

Номер каналу, Landsat-8	Значення E
B2	1970
B3	1842
B4	1547
B5	1044
B6	225,7
B7	82,06
B8	1369

Дана процедура обробки була використана у вигляді скрипту на Python для середовища ArcGis (див. Додаток А). Цей етап є частиною попередньої обробки зображення, яка покращує подальші можливості використання знімків за рахунок перетворення значень DN (тобто вихідної яскравості) в фізичні значення відображення на верхній межі атмосфери (TOA). Його також було реалізовано в багатьох програмних продуктах. Наприклад, надзвичайно корисним і дієвим є реалізація даного алгоритму в QGIS в полуавтоматичному плагіні Semi-Automatic Classification Plugin, в вкладці Preprocessing, де також

наявна можливість застосування простої атмосферної корекції за допомогою методу DOS1 (віднімання темного об'єкта 1). Таким чином відбувалася попередня обробка для знімків Sentinel-2.

Необхідність геометричної корекції знімків з урахуванням рельєфу при дослідженні лісів диктується малими розмірами контурів і необхідністю виявлення змін їх кордонів в часі зі знімків, отриманих під різними кутами зйомки. Для геометричної корекції знімків виконувалося ортотрансформування з урахуванням цифрової моделі рельєфу (ЦМР) місцевості SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission).

Загалом, первинна обробка матеріалів супутникової зйомки традиційно включає контрастування та фільтрацію, проте дані методи покращення зображення передбачають зміну спектральних характеристик знімка, тому після їх застосування не можна застосовувати методи тематичної обробки, які ґрунтуються на аналізі значень спектральної яскравості пікселів (класифікації, арифметичні перетворення каналів тощо). Тому застосування їх для виявлення уражених ділянок лісу є недоцільним.

При зіставленні двох різночасових знімків можлива ситуація, коли гістограми суттєво різняться, наприклад один знімок виглядає темним, а інший світлим. В такому випадку необхідно так перетворити обидва знімки або один з них, щоб мінімальні і максимальні значення яскравостей були однаковими. Це перетворення відомо як приведення зображень до одного виду (масштабування).

2.2. Використання композитів з трьох спектральних каналів в колірному просторі RGB для виявлення та моніторингу порушення рослинного покриву

Зміна стану природно–територіальних комплексів–одна з особливостей території, яку необхідно приймати до увагу при використанні аерокосмічних знімків. Об'єкти земної поверхні існують не тільки у просторі, але і у часі, тобто постійно змінюються.

В момент зйомки кожен з географічних об'єктів фіксується в певному стані, і від того, наскільки в даний момент часу виражені його характеристики і залежить результат дешифрування. Сезонні зміни можуть служити додатковою дешифрувальною ознакою для рослинності, оскільки зміна фаз вегетативного розвитку у рослин різних видів настає в різний час.

Вивчення багаторічної динаміки природних об'єктів, виявлення сезонних відмінностей, і загалом облік стану об'єкта спостереження – обов'язкова умова проведення моніторингу.

Знання закономірностей змін, що відбуваються в географічних ландшафтах є першою з умов, що істотно підвищує якість результатів дешифрування при виявленні по знімках динаміки об'єктів і явищ.

Дешифрувальні ознаки пов'язані зі спектральної відбивної здатністю, яка фіксується на знімку в залежності від виду зйомки і типу матеріалу, що використовується, прийнято ділити на прямі і опосередковані. Прямі дешифрувальні ознаки – це властивості об'єкта, що знаходять безпосереднє відображення на знімках. До них відносяться три групи ознак: геометричні (форма, тінь, розмір), яскравісні (фототон, рівень яскравості, колір, спектральний образ) та структурні (текстура, структура, малюнок). Дешифрування переважно за непрямими ознаками називається індикаційним.

Його методологічною основою служить взаємозв'язок і взаємозалежність усіх компонентів середовища ландшафту, як природних, так і антропогенних. Важливо враховувати, що індикаційні зв'язки діють лише в межах певного ландшафту, тому ландшафтно-індикаційна екстраполяція виявлених індикаторів на сусідні райони може призводити до суттєвих помилок, так як одні й ті ж об'єкти в різних районах можуть відображати різні географічні умови.

Для того, щоб створювати синтети з трьох спектральних каналів для візуального дешифрування та виявлення уражених ділянок лісу було проведено аналіз основних характеристик спектральних каналів знімків Landsat-8, а також Sentinel-2 (див. додаток Б) і встановлено аналогії для номерів каналів та діапазонів зйомки. Відповідно, для візуального дешифрування уражених ділянок лісу за прямими та непрямими ознаками використовувались синтез природніх кольорів, а також стандартна композиція псевдокольорів (Табл.2.2).

Таблиця 2.2.

Комбінації каналів для синтезів природніх та псевдокольорів для Landsat-8 і Sentinel-2

Синтез	Комбінація каналів Sentinel-2	Комбінація каналів Landsat-8
Природні кольори	04/03/02	4/3/2
Стандартні псевдокольори	08/04/03	5/4/3

Основні програмні пакети, що найчастіше використовуються для створення спектральних композитів є ENVI, QGIS, SAGA та ArcGIS.

РОЗДІЛ 3.

Автоматизована класифікація мультиспектральних знімків методом спектрального кута з метою виділення класу уражених ділянок лісу

3.1. Постановка задачі класифікації методом спектрального кута

Для підвищення ефективності обробки матеріалів ДЗЗ існує велика кількість алгоритмів, що реалізують вибір невеликої кількості найбільш інформативних каналів з подальшим використанням процедур класифікації, розроблених для аналізу мультиспектральних даних. Спосіб спектрального кута дає хороші результати, коли потрібно провести класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення яскравості у всіх спектральних діапазонах. Крім того, оскільки цей спосіб не враховує значення яскравості пікселів, на результати не впливають і ефекти спотворення знімків.

При класифікації способом спектрального кута виконуються наступні дії:

- 1) попередньо створюють еталонні ділянки;
- 2) всі пікселі знімка, в тому числі і еталонні, розглядаються як вектори в просторі спектральних ознак (рис. 3.1);

3) задається максимально допустимий спектральний кут, тобто, якщо кут між еталонним вектором і вектором пікселя, який зазнає класифікації, менше максимального, то цей піксель відноситься до даного класу, якщо більше – не відноситься.

Кут між двома векторами зазвичай обчислюється за наступною формулою[16,18,21]:

$$\theta = \arccos \frac{\bar{a} * \bar{b}}{|\bar{a}| * |\bar{b}|} \quad (3.1)$$

$\bar{a} * \bar{b}$ –скалярний добуток векторів;

$[\bar{a}] * [\bar{b}]$ –добуток модулів векторів;

При цьому спектральний кут вираховується за формулою:

$$\theta(x, y) = \arccos \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{(\sum_{i=1}^n X_i^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^n Y_i^2)^{1/2}} \quad (3.2)$$

де X –вектор спектральної сигнатури пікселя знімку,

Y – вектор спектральної сигнатури еталонної області,

n –кількість спектрів зображення.

Значення спектральних кутів з використанням (3.2) отримуються в радіанах. Для переведення значення кутів із радіан в градуси використовується співвідношення $\theta^0 = \frac{\theta^{\text{рад}} * 180}{\pi}$.

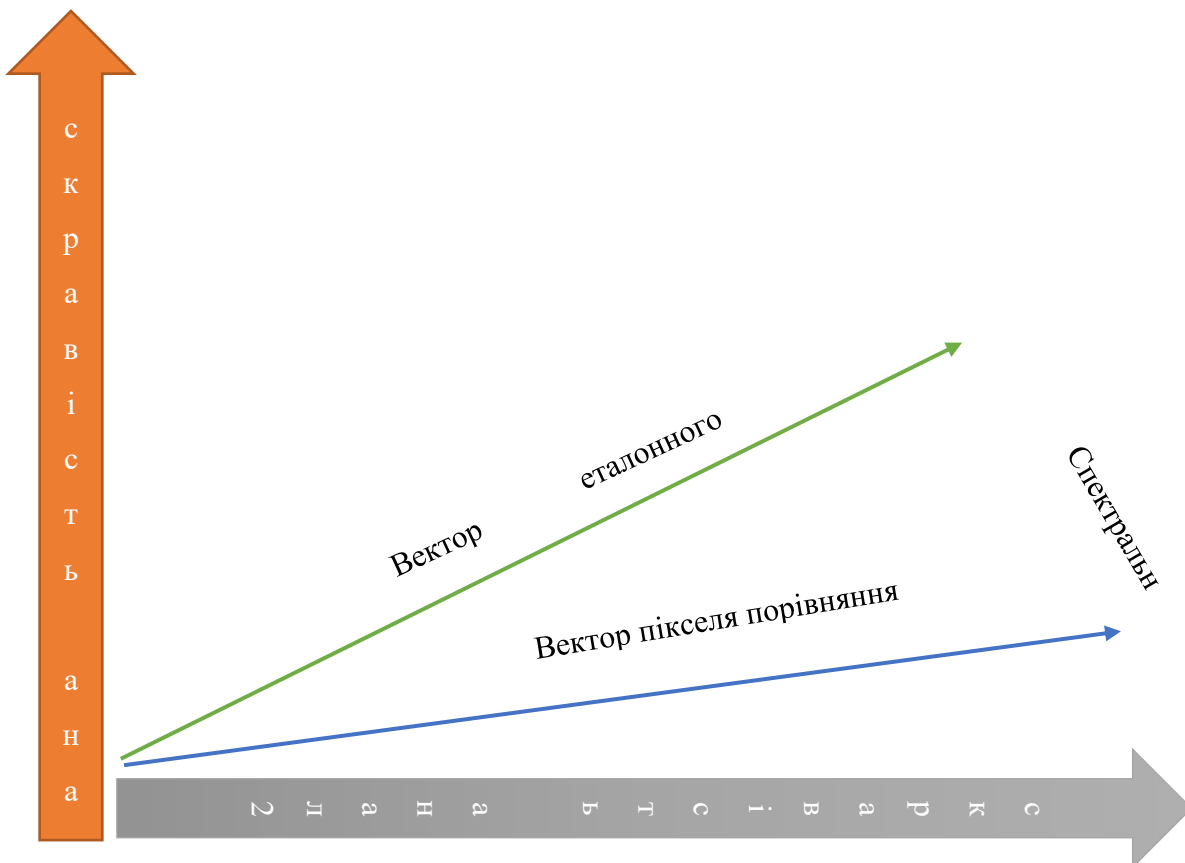


Рис. 3.1 Ілюстрація класифікації об'єктів способом спектрального кута у двовимірному просторі ознак

Якщо розглядати двовимірний простір ознак зі значенням еталонного вектору $a = \{X_1, Y_1\}$ та вектору порівняння $b = \{X_2, Y_2\}$, з формул (3.1) (3.2) витікає наступне співвідношення:

$$\theta = \arccos \frac{X_1 * Y_1 + X_2 * Y_2}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2} * \sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} \quad (3.3)$$

Отже, при використанні способу спектрального кута відношення пікселя до класу визначається за рахунок отриманого максимального значення спектрального кута між середнім значенням класу та рештою значеннями пікселів в n -мірному просторі спектральних ознак (де n – число каналів).

3.2. Реалізація алгоритму класифікації методом спектрального кута на Python в середовищі ArcGIS

Для класифікації з навчанням характерним є створення тренувальних областей, що покривають гомогенні типи поверхні. Для цього клас об'єктів навчальної вибірки повинен бути створений в ArcMap. Не існує методів їх створення в Python. Кращими вхідними даними для навчальної вибірки є 3-х каналний 8-бітний сегментований набір растрових даних. Вхідними даними може також бути одноканальний 8-бітний сегментований растр в шкалі сірих відтінків. Для реалізації алгоритму класифікації уражених ділянок методом спектрального кута було обрано навчальну вибірку на основі попередніх візуальних та індексних досліджень.

Класифікація проводилась у двовимірному просторі ознак при залученні каналів Landsat-8 Band-4 Red та Band-5 Infrared як найбільш інформативних для рослинності. Для реалізації даного алгоритму визначався середній вектор навчальної вибірки, який ставав базовим для визначення спектральних кутів

векторів інших пікселей. В результаті обчислення було визначено максимально допустимий кут між еталонними векторами та векторами пікселів класифікованих об'єктів (ураженої ділянки) (рис.3.2).

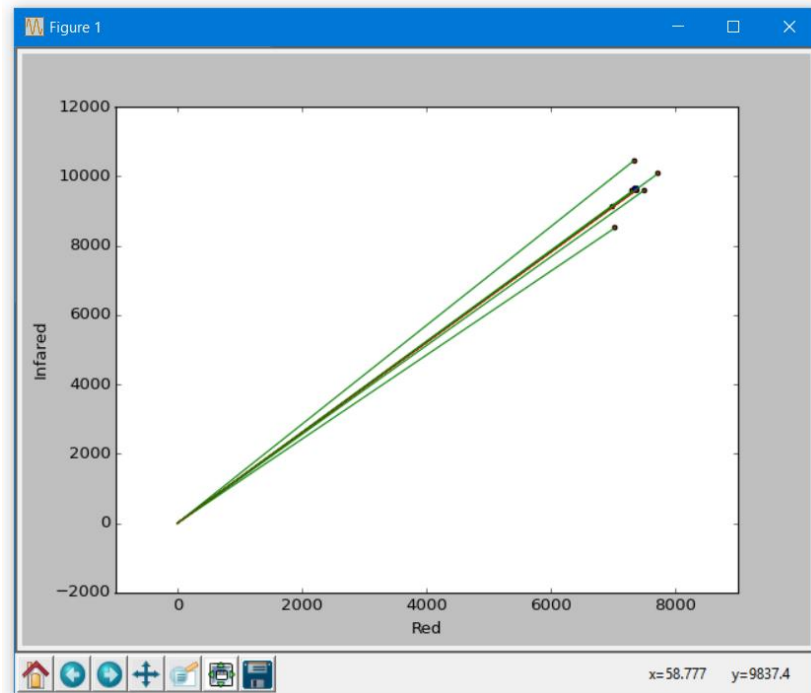


Рис.3.2. Вектори пікселів навчальної вибірки відображені в середовищі Python

Аналогічним шляхом визначалися кути для експериментальної області дослідження, і вони порівнювались з максимально допустимим кутом для класу ураженої рослинності. Також було виділено класи з навчальними вибірками для рослинної території (ліси хвойні та листяні), полей, вирубок та забудов.

Результати класифікації для тестової області наведені на рис.3.3.

Лістинг коду розробленого алгоритму наведений у додатку В. Проте даний алгоритм не є універсальним і потребує достатньо великих обчислювальних витрат, а також виникають неточності при виділенні класів навчальних вибірок. Проте класифікація методом спектрального кута

реалізована у більшості геоінформаційних програмних продуктах, з яких особливо популярним є використання Semi–Automatic Classification Plugin у QGIS, який є найбільш універсальним і дозволяє оперативно створювати великі навчальні вибірки.

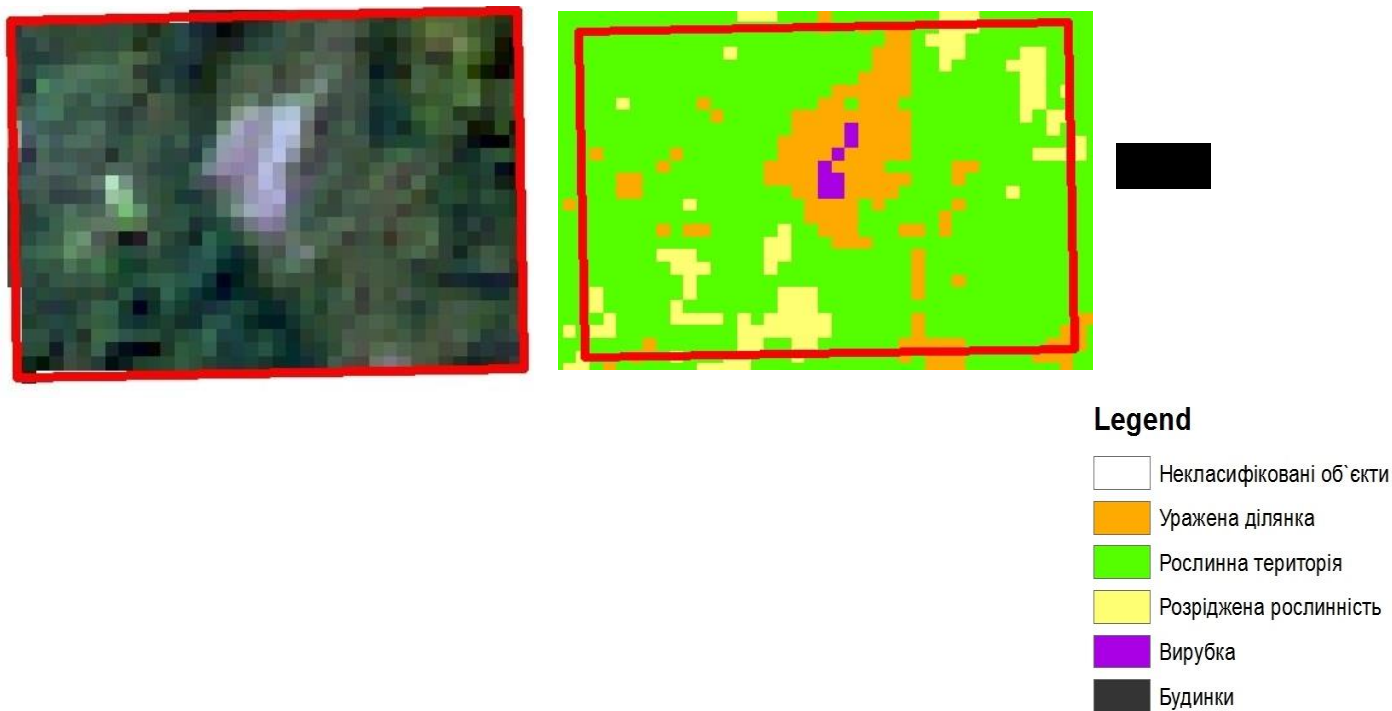


Рис. 3.3 Результати використання розробленого алгоритму на Python для тестової ділянки з візуально помітним ураженням

3.3. Використання Semi–Automatic Classification Plugin у QGIS для класифікації методом спектрального кута з метою виділення класу уражених ділянок лісового покриву

Програмні продукти для обробки знімків досить багаточисельні і різні за складністю. Серед пакетів високого рівня найбільшого отримали ENVI, ERDAS Imagine, PCI Geomatica.

Ці програмні продукти забезпечують повний комплекс обробки всіх існуючих в даний час видів зйомки, проте для оволодіння програмами такого рівня потрібна висока кваліфікація виконавців.

У вільному доступі також існують програмні комплекси, що забезпечують виконання основних операцій, необхідних для картографування та моніторингу змін природних територій локального рівня на основі ДДЗ. Їх можуть використовувати і фахівці–природознавці, наприклад для моніторингу лісових ценозів.

Серед важливих переваг системи QGIS – оптимальне поєднання можливостей власне ГІС, систем обробки аерокосмічної інформації і створення карт.

Для успішного тематичного аналізу знімків призначені процедури поліпшення візуальної якості зображень, їх дешифрування, підвищення контрасту, синтезу кольорових зображень з декількох зональних. Як будь–яка інша система обробки зображень, система QGIS дозволяє виконувати два види класифікації: контрольовану, на основі статистики ознак в навчальній вибірці і неконтрольовану (кластеризацію) на основі спектральних ознак. При цьому QGIS може бути адаптований до особливих потреб користувачів за допомогою розширення архітектури модулів. QGIS надає бібліотеки, які можуть використовуватися для встановлення модулів, також користувач може створювати окремі додатки, використовуючи мови програмування C ++ або Python.

Для виконання класифікації з метою виділення класу ураженої рослинності попередньо оброблених, перетворених у значення відбивної яскравості растрових каналів у напівавтоматичному плагіні класифікації на першому етапі створювались кольорові композити зображень RGB, що є

найбільш інформативними для відображення здорової та ураженої рослинності.

В QGIS дана процедура реалізовувалась через створення віртуального каталогу растрів, при чому всі канали зберігалися окремо для подальшого виділення сигнатур. На другому етапі створювались навчальні полігональні шари, які зберігали значення ROI (зразки еталонних пікселів навчальних областей). ROI, враховуючи спектральну мінливість класів земного покриву, виділялись так, щоб ці зразки являли собою однорідні ділянки зображення, шляхом сегментації зображення, за допомогою угруповання однорідних пікселів (рис.3.4).

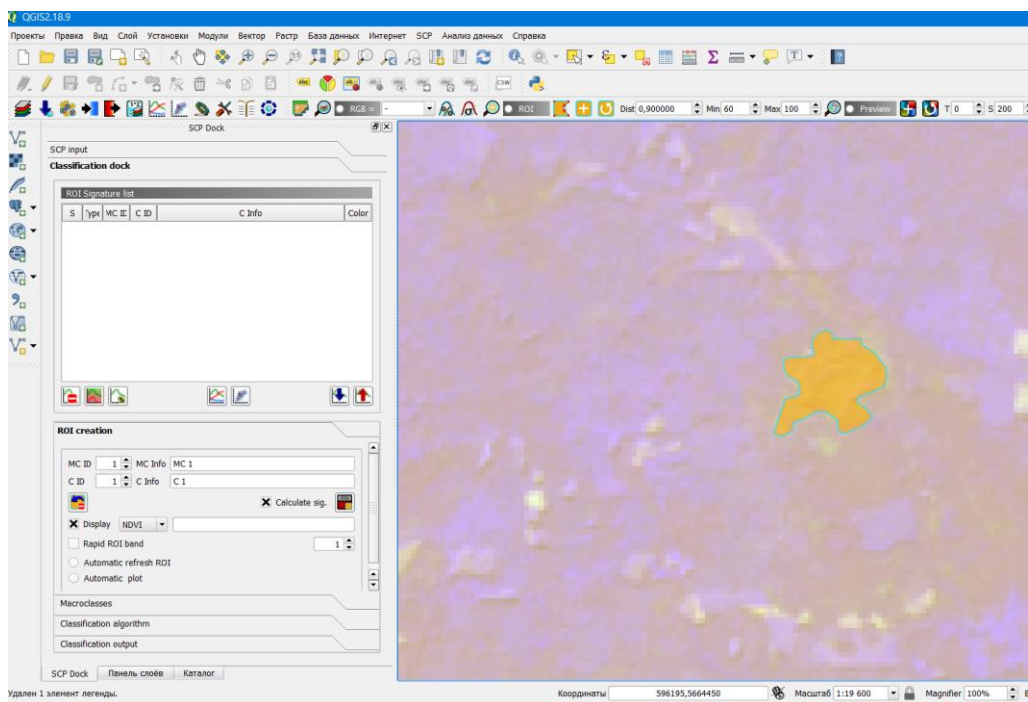


Рис.3.4 Створення еталонної навчальної ділянки ураження шляхом виділення однорідної області зображення

Так як на композитних зображеннях колір може варіюватися для одного й того ж класу необхідно створювати декілька еталонних областей, при чому в поле визначення для ROI важливо вводити короткий опис (наприклад, уражена ділянка, ліс, поле) для розрізнення і подальшого використання ROI.

Поле ID (тобто ідентифікатор) використовується як джерело для класифікації ґрунтово–рослинного покриву, тому важливо, щоб кожна категорія мала унікальне значення ID (ROI, що мають однаковий ідентифікатор оцінюються як єдиний клас).

При виконанні класифікації корисно виконувати її попередній перегляд, щоб оцінити якість (наприклад, спільною проблемою є те, що відкрита ґрунт класифікується як забудовані території і навпаки). Якщо результат попереднього перегляду незадовільний, існує можливість видаляти неякісні ROI, і / або створювати нові.

Класифікація може бути виконана з використанням одного з декількох алгоритмів (рис.3.5): класифікація, що базується на мінімальній відстані (Minimum Distance), класифікація методом максимальної правдоподібності (Maximum Likelihood), а також методом спектрального кута (Spectral Angle Mapping).

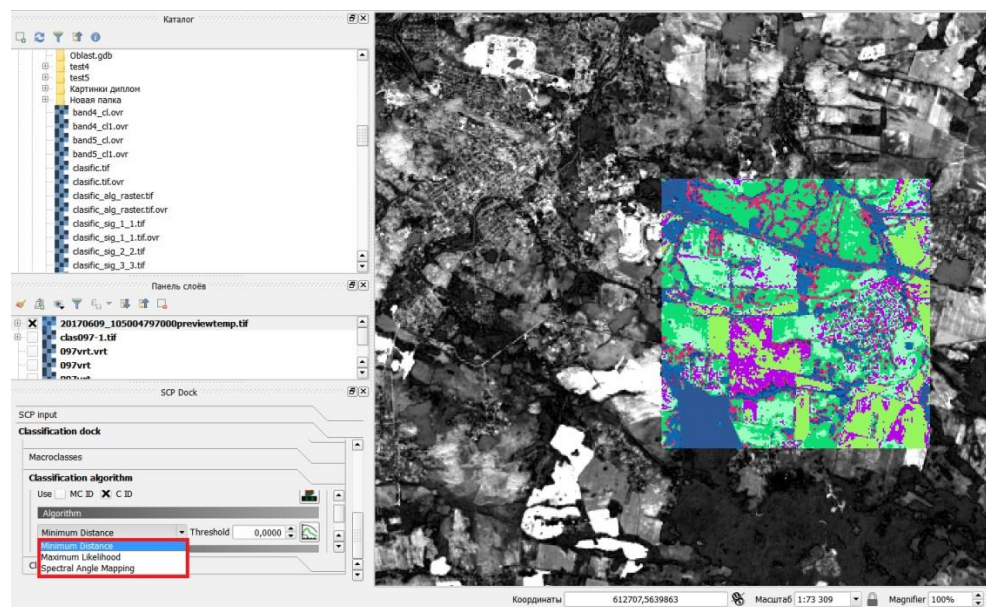


Рис. 3.5. Можливі алгоритми класифікації, надані в QGIS з попереднім переглядом області класифікації

Метод мінімального відстані визначає клас, центр якого знаходиться на мінімальній Евклідовій відстані від класифікованого пікселя в багатовимірному просторі ознак. Метод максимальної правдоподібності заснований на визначенні щільності розподілу пікселів навчальної вибірки в обраній системі ознак. Кожен піксель відноситься до того класу, до якого він може належати з найбільшою імовірністю. При розрахунку імовірності враховується яскравість пікселя і яскравості пікселів, що його оточують. Метод спектрального кута (SAM (Spectral Angle Mapper)) вибирає клас, кут між вектором, спрямованим до центру з початку координат, найбільш близький до кута вектора, спрямованого до класифікованого пікселя. Вибір даного методу класифікації обґрунтований тим, що потрібно провести класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення спектральної яскравості.

Після отримання задовільних результатів поточного перегляду виконувалась остаточна класифікацію, вихідним файлом якої є растровий файл в TIF-форматі. Остаточні результати класифікації з виділенням уражених ділянок лісу на прикладі Житомирської області наведені на рис.3.6.

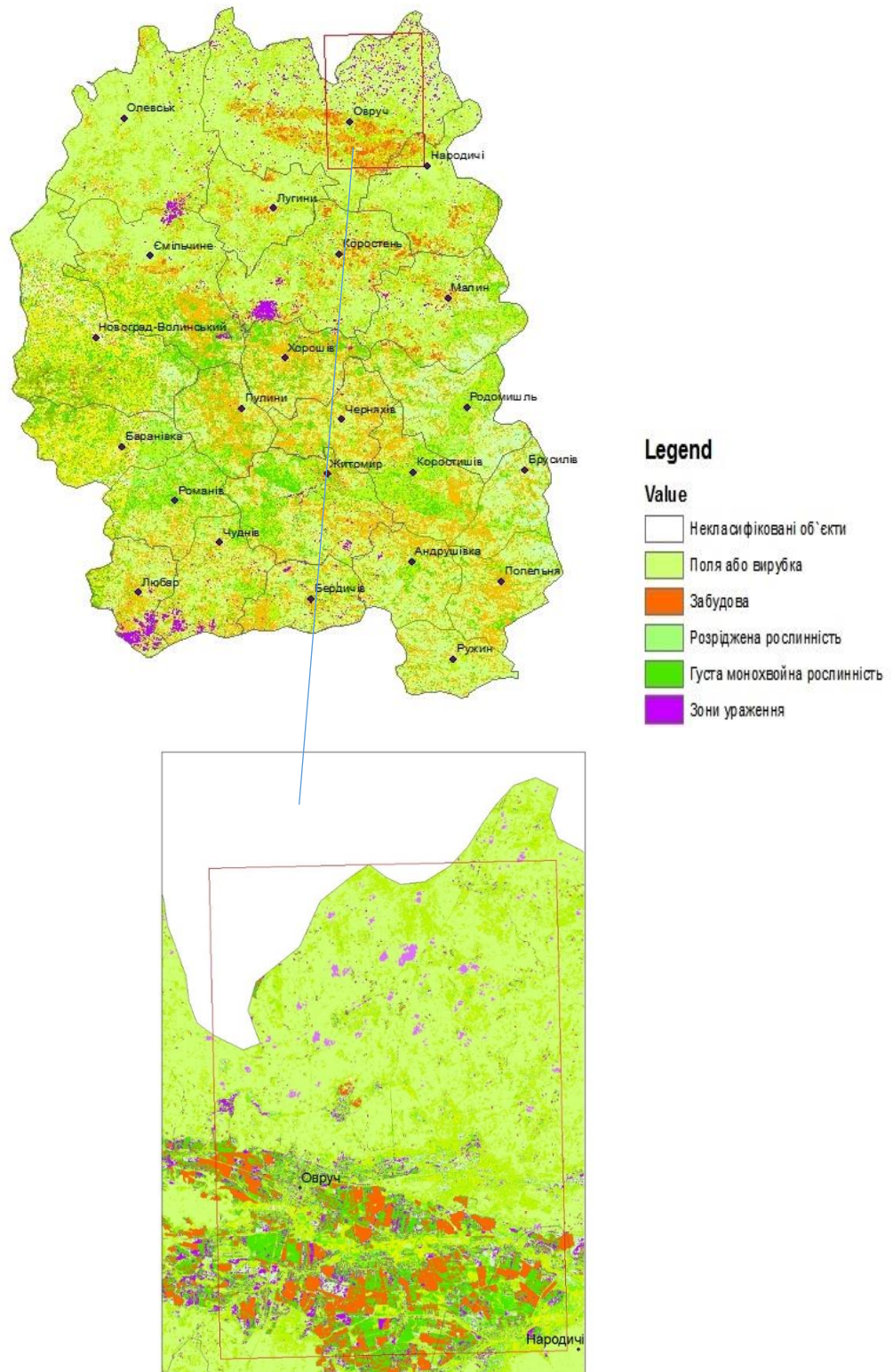


Рис. 3.6 Результати класифікації методом спектрального кута з використанням знімків Landsat–8 за 2016 рік на території Житомирської області з виділенням уражених ділянок рослинного покриву

Ці результати показують, що в області дослідження на момент 2016 року налічується близько 231 квадратного кілометра уражених ділянок лісу, при цьому максимальна концентрація пікселів класу уражених зон припадає на Овруцький, Коростенський, Хорошівський, Любарський та Малинський райони.

Оцінюючи точність класифікації враховується, що ця класифікація виконана тільки для демонстраційних цілей, так як точна класифікація ґрунтово–рослинного покриву потребує додаткових даних і польового обстеження. Однак для того, щоб оцінити точність класифікації існує можливість порівняння підсумкової класифікації земельного покриву зі створеними областями навчальної вибірки ROI, базуючись на тому, що теоретично, пікселі зображення, що належать до певного ROI повинні бути класифіковані як відповідний йому клас. Розрахувавши матрицю помилок, загальна точність класифікації дорівнює 76,4%. Помилки класифікації можуть бути пов'язані з недостатньою просторовою розрізненістю знімків, а також відсутності даних польових досліджень.

Для покращення точності класифікації при відсутності результатів наземних досліджень можуть бути використані два шляхи: збільшення розміру вибірок і зменшення кількості ознак. Перший веде до збільшення трудомісткості процедур і до того ж не завжди можливий при вирішенні багатьох прикладних задач. Другий шлях є більш практичним, проте при невдалому виборі ознак може привести до втрати інформації, яка визначає відмінність класів. Таким чином, при аналізі мультиспектральних зображень з класами з близькими середніми значеннями класів і з високим внутрішньокласовим розкидом доцільно використовувати невелику кількість найбільш інформативних ознак.

ВИСНОВКИ

В роботі був здійснений аналіз методів і підходів до дослідження лісової рослинності за даними супутникової зйомки, зокрема методів візуального та автоматизованого дешифрування, проаналізовані існуючі методи і підходи до моніторингу природних лісових ценозів, а також обґрунтовано використання матеріалів та методів попередньої обробки даних ДЗЗ, в тому числі з використанням мови програмування Python для автоматизованого переведення значень безрозмірних величин Landsat-8 у значення альbedo.

Представлена робота містить такі результати наукових досліджень:

- обґрунтовано методики використання даних Sentinel-2 та Landsat-8 для виявлення уражених ділянок лісу, що можуть бути використанні як еталонні в процесі класифікації, при відсутності спостережених наземних еталонів;

- обґрунтовано використання вегетаційних індексів та створено на їх основі картосхему Житомирської області з виділенням зон прогресуючого рослинного ураження. Проведено оцінку площі виявлених територій уражень з залученням індексних зображень, що склала близько 182,6 кв.км

- реалізовано алгоритм класифікації методом спектрального кута на Python в середовищі ArcGis з метою більш глибокого розуміння алгоритму класифікації та визначення максимально допустимого кута між еталонними векторами та векторами класифікованих пікселів як критерію для віднесення пікселів до класів, та використано дану реалізацію на тестовій ділянці з попередньо візуально виділеним ураженням для оцінки роботи алгоритму;

- подальші дослідження доцільно зосередити на розробці універсального алгоритму. Також необхідно збільшити кількість тестових навчальних ділянок,

при цьому доцільно використання при валідації знімків високої просторової розрізненності.

Розроблено методику для виділення уражених ділянок лісу з використанням Semi–Automatic Classification Plugin у QGIS для класифікації методом спектрального кута з метою виділення цільового класу. Точність класифікації дорівнює 76,4%. Помилки класифікації можуть бути пов'язані з недостатньою просторовою розрізненністю знімків, а також відсутності даних польових досліджень.

ДОДАТКИ

Додаток А

*Лістинг коду для автоматизованої радіометричної корекції
(переведення значень каналів Landsat у значення альbedo)*

```
#імпорт необхідних для процедури модулів
import math
import arcpy
from arcpy.sa import *
import re

#вхідні дані
Path=arcpy.GetParameterAsText(0)
MetaFile=arcpy.GetParameterAsText(1)
workspace=arcpy.GetParameterAsText(2)
NumOftheBand=arcpy.GetParameterAsText(3)
Rasterband=arcpy.GetParameterAsText(4)
def readMTL(Path):
#функція зчитування інформації з файлу метаданих
    input=open(Path,"r")
    aString = input.read ()
    return aString

def Metaparametr(NumOftheBand,Textparameter,Path):
#функція вибору необхідного параметру з зчитаної з файлу інформації
    a = readMTL(Path)
    regexp=str(Textparameter)+str(NumOftheBand)+" = ([-0-9.]*)"
    print regexp
```

```

stuff = re.findall(regex, a)
print stuff
if len(stuff)== 1:
    Parameter = float(stuff[0])
return Parameter

```

```

def workSpace(overwrite,workspace):
# функція вибору робочої області для збереження даних
    arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
    arcpy.env.overwriteOutput = overwrite
    arcpy.env.workspace=workspace

```

```

def calculateRadiation(NumOftheBand,Rasterband):
    workSpace(True,workspace)
    raster=arcpy.Raster(Rasterband)
    RadMax=
Metaparametr(NumOftheBand,"RADIANCE_MAXIMUM_BAND_",Path)
    RadMin=
Metaparametr(NumOftheBand,"RADIANCE_MINIMUM_BAND_",Path)
    Qmin=Metaparametr(NumOftheBand,"QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_",Path)

Qmax=Metaparametr(NumOftheBand,"QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_",Path)
    R=(RadMax-RadMin)*((raster-Qmin)/(Qmax-Qmin))
    return R

```

```

def E(NumOftheBand):

```

```
if NumOftheBand==2:
```

```
    E=1970
```

```
if NumOftheBand==3:
```

```
    E=1842
```

```
if NumOftheBand==4:
```

```
    E=1547
```

```
if NumOftheBand==5:
```

```
    E=1044
```

```
if NumOftheBand==7:
```

```
    E=82.06
```

```
if NumOftheBand==8:
```

```
    E=1369
```

```
return E
```

```
def numOfPhoto(MetaFile):
```

```
    MTLlistName=MetaFile.split(".")
```

```
    return str(MTLlistName[0])
```

```
def creationAlbedoRaster(NumOftheBand,Rasterband):
```

```
    workSpace(True,workspace)
```

```
    raster = arcpy.Raster(Rasterband)
```

```
    Eta=Metaparametr("", "SUN_ELEVATION",Path)
```

```
    d=Metaparametr("", "EARTH_SUN_DISTANCE",Path)
```

```
outrast=(math.pi*calculateRadiation(NumOftheBand,Rasterband)*d**2)/(E(NumOftheBand)*(math.sin(Eta*math.pi/180)))
```

```
outrast.save("albedo"+numOfPhoto(MetaFile)+str(NumOftheBand)+".tif")
```

Додаток Б

Таблиця Б.1 Основні спектральні характеристики каналів, Landsat-8

Спектральний канал Landsat-8	Довжини хвиль, мкм	Розрізненність, м
Band 1 — Coastal / Aerosol, New Deep Blue	0.433 — 0.453	30
Band 2 — Blue	0.450 — 0.515	30
Band 3 — Green	0.525 — 0.600	30
Band 4 — Red	0.630 — 0.680	30
Band 5 — Near Infrared, NIR	0.845 — 0.885	30
Band 6 — Short Wavelength Infrared, SWIR 2	1.560 — 1.660	30
Band 7 — Short Wavelength Infrared, SWIR 3	2.100 — 2.300	30
Band 8 — Panchromatic, PAN	0.500 — 0.680	15
Band 9 — Cirrus, SWIR	1.360 — 1.390	30
Band 10 — Long Wavelength Infrared, TIR1	10.30 — 11.30	100
Band 11 — Long Wavelength Infrared, TIR2	11.50 — 12.50	100

Таблиця Б.2 Основні спектральні характеристики каналів, Sentinel-2

Спектральний канал Sentinel-2	Довжини хвиль, нм	Розрізненність, м
B01 — Aerosols	443	60
B02 — Blue	490	10
B03 — Green	560	10
B04 — Red	665	10
B05 — Red Edge 1	705	20
B06 — Red Edge 2	740	20
B07 — Red Edge 3	783	20
B08 — NIR	842	10
B8a — Red Edge 4	865	20
B09 — Water vapor	940	60
B10 — Cirrus	1375	60
B11 — SWIR 1	1610	20
B12 — SWIR 2	2190	20

Додаток В

Додаток В.1 Лістинг коду для визначення максимального кута між еталонними векторами та векторами класифікованих

```
def training(Rasterband1,Rasterband2):
#визначення середнього значення векторів еталонної ділянки
    meanx=numpy.average(rasterArray(Rasterband1))
    meany=numpy.average(rasterArray(Rasterband2))
    newarr=[]
#визначення скалярного добутку векторів еталонних значень
    a=meanx*meany
    for i in range(0,len(rasterArray(Rasterband1))):
        G=[]
        for j in range(0,len(rasterArray(Rasterband2)[0])):
#знаходження векторів класифікованих пікселів
            r4=rasterArray(Rasterband1)[i][j]
            r5=rasterArray(Rasterband2)[i][j]
            b=r4*r5
#розрахунок спектрального кута та переведення його в радіани
            angle=math.acos((a+b)/(math.sqrt(meanx**2+meany**2)*math.sqrt(r4**2+r5**2))
) angle=angle*180/math.pi
            G.append(angle)
            newarr.append(G)
#функція повертає список усіх знайдених кутів між еталонними та
класифікованими векторами
    return newarr
```

```
def maxangle(Rasterband1,Rasterband2):
```

```
#функція повертає значення максимального кут
```

```
return numpy.max(numpy.vstack((Rasterband1, Rasterband2)))
```

Додаток В.2 Лістинг коду для визначення класу уражених ділянок лісу

```
def SAM(Rasterband1,Rasterband2,Rasterband3,Rasterband4):
```

```
    workspace(True, workspace)
```

```
# визначення середнього значення векторів еталонної ділянки
```

```
    meanx=numpy.average(rasterArray(Rasterband1))
```

```
    meany=numpy.average(rasterArray(Rasterband2))
```

```
    newarr=[]
```

```
    a=meanx*meany
```

```
#визначення векторів класифікованої ділянки
```

```
    maxang=maxangle(Rasterband1,Rasterband2)
```

```
    for i in range(0,len(rasterArray(Rasterband3))):
```

```
        G=[]
```

```
        for j in range(0,len(rasterArray(Rasterband4)[0])):
```

```
            r3=rasterArray(Rasterband3)[i][j]
```

```
            r6=rasterArray(Rasterband4)[i][j]
```

```
            b=r3*r6
```

```
#визначення кута між середнім еталонним та класифікованим вектором
```

```
angle=math.acos((a+b)/(math.sqrt(meanx**2+meany**2)*math.sqrt(r3**2+r6**2))
)
```

```
    angle=angle*180/math.pi
```

```
#Якщо значення кута менше ніж максимального допустимого цей піксель
відноситься до класу, тобто це уражена ділянка
```

```
if angle<maxang:  
    G.append(1)  
else:  
    G.append(0)
```

```
myRaster=arcpy.NumPyArrayToRaster(array,lower_left_corner=leftCorner(Rasterband3),x_cell_size=cellSize(Rasterband3))
```

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Архипова М. В. Анализ современного состояния широколиственных лесов среднерусской возвышенности с использованием космических снимков Landsat // *Фундаментальные исследования.* 2013. № 11–6. С. 1181–1185.

Борзов С. М., Козик В. И., Потатуркин О. И. Поиск объектов неприродного происхождения на основе многоспектральной обработки данных дистанционного зондирования Земли // *Автометрия.* 2010, № 6. С. 9–15.

Бычков И. В. Создание инфраструктуры пространственных данных в управлении регионов // *География и природные ресурсы/ Бычков И. В., Плюснин В. М., Ружников Г., Москва, 2013. № 2. С. 145–150.*

Гаврилюк Е. А., Ершов Д. В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat–TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса.* 2012. Т. 9. № 4. С. 15–23.

Исаев А. С., Черненко Т. В. Мониторинг биоразнообразия лесов: подходы и результаты // *Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием.* Петрозаводск, 2009. С. 60–62.

Зацерковний В.І., Тішаєв І.В, Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю.– Ніжин: НДУ ім. М.Гоголя, 2016 – 510с;

Жуков М.Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник.–К:Видавничо – Поліграфічний центр «Київський університет»,2008 – 508с.

Климина Е. М., Остроухов А. В. Анализ динамики нарушенности темнохвойных лесов Северного Сихоте–Алиня на основе использования спутниковых данных // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1–4. С. 996–1000.

Кравцова В. И., Тутубалина О. Н. Аэрокосмические методы географических исследований . М., 2004 – 336 с.

Крылов А. М., Соболев А. А., Владимирова Н. А. Выявление очагов короеда–типографа в Московской области с использованием снимков Landsat // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – №. 4. – С. 54–60

Крылов А.М., Владимирова Н.А., Малахова Е.Г. Использование свободных ГИС в системе дистанционного лесопатологического мониторинга // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной Вестник, №1, 2012. С. 148–152

Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // "ГЕОМАТИКА" №3(12), 2011 г. с. 53–57

Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник . М., 2010 – 424 с.

Мозолевская Е.Г., Катаев О.А., Соколова Э.С. Методы лесопатологического об– следования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесн. пром–сть, 1984, 152 с.

Пестунов И. А., Синявский Ю. Н. Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений // Вестн. Кем. гос. ун–та. 2012. № 4/2 (52). С. 110–125.

Станкевич С. А. Дистанційне оцінювання кількості рослинності в міських агломераціях / С. А. Станкевич, І. О. Пестова // Матеріали науково-практичної конференції «Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій». — К. : ІНТ НАУ, 2013.

Хамедов В.А. Применение геоинформационных технологий для оценки последствий лесных пожаров // Информационные технологии и космический мониторинг (сборник матер. научно–практ. конф). Екатеринбург: Баско, 2004. С. 50–53.

Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы . М., 2008 – 312 с.

А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. Геоматика №3. 2009

Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R. A review of vegetation indices // Rem. Sens. Reviews. 1995. Vol. 13: 1–2. P. 95–120.

Banskota A., Kayastha N., Falkowski M., Wulder M. A., Froese R. E., White J. C. Forest monitoring using Landsat time–series data: A review // Canadian Journal of Rem. Sens. 2014. Vol. 40. № 5. P. 362–384

Baret, F., Guyot, G., and Major, D. (1989) "TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation," in 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS 1990, Vancouver, Canada, July`10–14.

Baret, F. and Guyot, G. (1981) "Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, Remote Sensing of Environment, vol. 35, pp. 161–173.

Bruce C., Hilbert D. Pre–processing Methodology for Application to Landsat TM/ETM+ Imagery of the Wet Tropics // CSIRO Tropical Forest research Centre and Rainforest CRC. 2006. 46 p.

Clevers, J. G. P. W. (1988) "The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, Remote Sensing of Environment, vol 35., pp. 53–70.

Crippen, R. E. (1990) "Calculating the Vegetation Index Faster," Remote Sensing of Environment, vol 34., pp. 71–73.

Crist, E. P. and Cicone, R. C. (1984) "Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 50, pp. 343–352.

Camathias L., Bergamini A., Küchler M., Stofer S., Baltensweiler A. High-resolution remote sensing data improves models of species richness // Applied Vegetation Science. 2013. Vol. 16.4. P. 539–551.

Cawse–Nicholson K., Damelin S. B., Robin A., Sears M., Determining the Intrinsic Dimension of a Hyperspectral Image Using Random Matrix Theory // IEEE Trans. Image Processing. 2013. Vol. 22. P. 1301–1310.

Chan T. H., Ambikapathi A., Ma W. K., Chi C. Y. Robust Affine Set Fitting and Fast Simplex Volume Max–Min for Hyperspectral Endmember Extraction // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2013. Vol. 51. P. 3982–3997.

Chander, G. & Markham, B. 2003. Revised Landsat–5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 41, 2674 – 2677

Chavez, P. S. 1996. Image–Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [Falls Church, Va.] American Society of Photogrammetry, 62, 1025–1036

Cho M. A., Skidmore A. K. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method // Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 101 (2). P. 181–193.

Du H., Chang C., Ren H., Chang C., Jensen J., D'Amico F. New hyperspectral discrimination measure for spectral characterization // *Optical Engineering*. 2004. Vol. 43 (8). P. 1777–1786

Fox L. Essential Earth imaging for GIS. California, 2015–115 p.

Hojas–Gascón L., Belward A., Eva H., Ceccherini G., Hagolle O., Garcia J., Ceruttid P. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel–2 program // *Int. Archives of the Photogram., Rem. Sens & Spatial Inf. Sciences*. 2015. P. 417–423.

Goetz et al., "Application of Multitemporal Landsat Data to Map and Monitor Land Cover and Land Use Change in the Chesapeake Bay Watershed, In Analysis of Multi–temporal Remote Sensing Images," vol. World Scientific Publishers, no. pp. 223–232, 2004

GRASS Development Team. Geographic resources analysis support system (GRASS) software. Open source geospatial foundation project, режим доступа <http://grass.osgeo.org>,

Kruse F. A., Lefkoff A. B., Boardman J. B., Heidebrecht K. B., Shapiro A. T., Barloon P. J., Goetz A. F. H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data // *Remote Sensing of Environment*. 1993. Vol. 44. P. 145–163.

Mockel T. Hyperspectral and multispectral remote sensing for mapping grassland vegetation: PhD diss. Lund University, 2015. 41 p.

Moran, M.; Jackson, R.; Slater, P. & Teillet, P. 1992. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output *Remote Sensing of Environment*, 41, 169–184

NASA, "NDVI," 2013. [Online]. Available: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php.

Landsat 8 (L8) data users handbook. EROS. Sioux Falls. South Dakota, 2015. 106p

Plaza A., Du Q., Bioucas-Dias J., Jia X., Kruse F. Foreword to the special issue on spectral unmixing of remotely sensed data // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. 2011. Vol. 49. No. 11. P. 4103–4110.

Python Documentation [Online]: <https://www.python.org/doc/>

QGIS Development Team. QGIS geographic information system. Open source geospatial foundation project. Режим доступа: <http://qgis.osgeo.org>

Sellers et al., "Remote sensing of the land surface for studies of global change: modelsalgorithms–experiments.," 1995.

Slaton and Raymond-Hunt, "Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics," Vols. 88 no. 2 278-284, 2001.

Richards J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer–Verlag, Berlin, 2013.

Richardson, A. J. and Everitt, J. H. (1992) "Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity, Geocarto International, vol. 1, pp. 63–69.

Richardson, A. J. and Wiegand, C. L. (1977) "Distinguishing vegetation from soil background information," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 43, pp. 1541–1552.

USGS, "Remote Sensing Phenology," 2013. [Online]. Available: <http://phenology.cr.usgs.gov/overview.php>.

<http://gis-lab.info/>